

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/000161

International filing date: 11 January 2005 (11.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 003 681.0  
Filing date: 24 January 2004 (24.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 February 2005 (10.02.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

PCI/EPDS/00167



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 003 681.0

**Anmeldetag:** 24. Januar 2004

**Anmelder/Inhaber:** Klingelberg AG, Zürich/CH;  
Palima W. Ludwig & Co, Sarnen/CH.

Erstanmelder: Palima W. Ludwig & Co, Sarnen/CH

**Bezeichnung:** Biegevorrichtung mit Pendelwalzrollen

**IPC:** B 21 D 9/10

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 18. Januar 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag



Schäfer

**PATENTANWALT**  
**DR.-ING. PETER RIEBLING**  
Dipl.-Ing.  
**EUROPEAN PATENT & TRADEMARK ATTORNEY**

Postfach 3160  
D-88113 Lindau (Bodensee)  
Telefon (08382) 78025  
Telefon (08382) 9692-0  
Telefax (08382) 78027  
Telefax (08382) 9692-30  
E-mail: [info@patent-riebling.de](mailto:info@patent-riebling.de)  
[www.patent-riebling.de](http://www.patent-riebling.de)

22. Januar 2004

Anwaltsakte: 17266.7-P833-31-na

Anmelder: **Palma W. Ludwig & Co.**  
**Freiteilmattlistraße 34**  
**CH-6060 Sarnen**  
**Schweiz**

**Biegevorrichtung mit Pendelwalzrollen**

Die Erfindung betrifft eine Biegevorrichtung mit Pendelwalzrollen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Die Erfindung offenbart ein neues Biegeverfahren, das im folgenden auch als Kalt-Fließformbiegen bezeichnet wird.

Beim Kaltumformen, beim Biegen von Hohlprofilen, insbesondere von offenen und halb offenen Profilen, besteht das Problem, dass das Profil zum Ausbeulen, Knicken, Wellen oder Brechen neigt.

In der DE 197 17 472 A1 wurde eine Lösung dieses Problems in der Weise vorgeschlagen, dass eine Vier-Walzenbiegemaschine mit einem Dornschaft ausgerüstet wird, der im Innenraum des Profils in der Biegezone positioniert wird.

Hausanschrift:  
Rénnerle 10  
D-88131 Lindau

Bankkonten:  
HypoVereinsbank Lindau · Kto.-Nr. 1 257 110 (BLZ 600 202 90) · IBAN: DE80 8002 0290 0001 2571 10 · Swift (BIC): HYVEDEMM473  
Volksbank Lindau · Kto.-Nr. 51 222 000 (BLZ 650 820 10) · IBAN: DE97 6509 2010 0051 2220 00 · Swift (BIC): GENODES1WAN  
Postbank München · Kto.-Nr. 414 848-808 (BLZ 700 100 80) · IBAN: DE87 7001 0080 0414 8488 08 · Swift (BIC): PBNKDEFF  
VAT-NR: DE 129020439 – Steuer-Nr.: 134/265/30288

Mündliche Vereinbarungen bedürfen der schriftlichen Bestätigung  
Sprechzeit nach Vereinbarung

- Die Biegemaschine besteht aus einer an der Innenseite des gebogenen Profils sich anlegenden Mittelrolle, einer sich an der Bogenaußenseite anlegenden Walzrolle und einer an der Auslaufseite des Profils angeordneten Biegerolle, welche auf die Bogenaußenseite wirkt, und zwar entgegen der Abstützwirkung einer an der Einlaufseite an der Bogenaußenseite anliegenden Stützrolle.

- Es wurde festgestellt, dass mit dieser bekannten Biegevorrichtung ein Auswalzeffekt der horizontalen Bogenseiten (Bogeninnen- und -außenseite) des Profils stattfindet, und zwar in der Weise, dass die an der Bogenaußenseite anliegende Walzrolle das Profil in diesem Bereich ausdünnert und die an der Bogeninnenseite anliegende Mittelrolle die Reaktionskräfte aufnimmt, wobei es zu einer Materialzunahme der Wandstärke im Bereich der Bogeninnenseite durch einen Staucheffect des gebogenen Profils kommen kann.

- Bisher wurden Materialveränderungen in der Dicke der Materialwand des zu biegenden Profils im Bereich der Bogeninnen- und Bogenaußenseite in Kauf genommen, ohne dass diese Materialveränderungen kontrolliert gesteuert werden konnten.

- Die damit verbundenen Reck- und Stauchkräfte an der Bogeninnen- bzw. Bogenaußenseite haben demgemäß einen entsprechend negativen Einfluss auf die Formgebung des Profils und des Materialgefüges.

- Damit konnte der Materialfluss von der Bogenaußenseite zur Bogeninnenseite, bzw. in Richtung zum Bogenaußenumfang und zur Bogeninnenumfang (Quer-, Längsfluss des Gefüges im Profilquerschnitt) nicht kontrolliert beeinflusst werden. Daher konnten Beulungen und Verwerfungen in den Wandungen stattfinden.

- Beim Biegen dieses Profils gibt es demgemäß einen Streckbereich im Außenbogen und einen Stauchbereich im Innenbogen.

Strecken und Stauchen sind Ereignisse, die durch die Krafteinbringung zur Überwindung des Widerstandsmoments eines zu biegenden Profils entstehen, diese Kräfte bewirken im zu biegenden Profil einen Gefügefluss des Materials.

- 5 Das Reck- und Stauchfließen wird durch große Zug- und Druckkräfte im Außen- und Innenbereich einer Profilbogenherstellung beim Überschreiten der Elastizitätsgrenze bewirkt.

- 10 Beim konventionellen Biegen von Profilen nach der DE 197 17 472 A1 kommt es im Grenzbereich einer Biegung zu Deformationen im Profilquerschnitt, wobei nach dem Gegenstand der DE 197 17 472 A1 bereits schon Einfluss auf diese Deformationen insoweit genommen wurde, dass die Innen- und Außenwand des Profils eine saubere Führung durch einen in der Biegezone positionierten Dornschaft erfuhr.

- 15 Es konnte dennoch zu sogenannten Mikro- oder Makrorissbildungen in der Seitenwand des gebogenen Profils kommen, bzw. an den Übergängen zwischen gewalzter und ungewalzter Wandung zu Scherkräften, die eine Trennung des Materials zur Folge haben konnten. Die Homogenität des Gefüges war gestört oder sogar unterbrochen.

20

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Biegevorrichtung der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass eine optimale Umformung eines Profils ohne Störung der Homogenität des Gefüges unter Vermeidung von Mikro- oder Makrorissbildungen in den Seitenwänden des Profils erreicht wird.

25

Damit sollen eine saubere und maßhaltige Querschnittsform des gebogenen Profils und eine saubere Oberfläche erreicht werden.

- 30 Zur Lösung der gestellten Aufgabe ist die Erfindung durch die technische Lehre des Anspruchs gekennzeichnet.

Wesentlich ist, dass in senkrechter Ebene zur Biegeebene bezüglich der einander gegenüberliegenden Mittel- und Walzrollen weitere, sogenannte Pendelwalzrollen angeordnet sind, welche auf die obere und untere Seitenwand des Profils einwirken.

- 5 Mit dieser technischen Lehre wird ein neuartiges Fließform-Biegen vorgeschlagen, welches einen Gefügefluss in der Biegeachse eines Profils induziert. Dieser Gefügefluss entsteht durch den Walzvorgang in dem Augenblick, wenn der Biegeprozess in Gang gesetzt wird, einhergehend mit der Einbringung des Walzeffektes.

10

Reck- und Stauchkräfte werden auf diese Weise auf ein Minimum reduziert oder ganz eliminiert, je nach der einzubringenden Walzkraft und Eindringtiefe der Walzrollen in das Material.

- 15 Die Homogenität des Werkstoffs während des Biegeprozesses bleibt weitestgehend erhalten oder wird sogar noch durch die erfindungsgemäße Verdichtung aller Wände (Bogenaußenseite, Bogeninnenseite, Seitenwand oben und Seitenwand unten) verbessert.

- 20 Die vorher genannten schädlichen Einflüsse im Querschnittsgefüge in der Biegeachse können somit nicht mehr entstehen.

- Die Erfindung schlägt demzufolge sich an der oberen und unteren Seitenwand anlegende, weitere Rollen vor, die nachfolgend als Pendelwalzrollen bezeichnet werden. Auf den Begriff "Pendelwalzrolle" ist die Erfindung jedoch nicht beschränkt. In der einfachsten Ausgestaltung der Erfindung sind diese Walzrollen (mit oder ohne Kontur) nicht-pendelnd, sondern starr angeordnet.

- 30 Die Erfindung beschäftigt hauptsächlich sich mit dem induzierten Gefügefluss, der von der Bogenaußenseite des Profils in Richtung zur Bogeninnenseite verläuft und steuert diesen Gefügefluss durch die Anbringung von oberen und unteren Pendelwalzrollen an den oberen und unteren Seitenwänden, um so den Gefügefluss von der Bogenaußenseite zur Bogeninnenseite umzulenken und dort einzuleiten.

Zusätzlich bewirkt die Volumenverschiebung einen Längsfluss mit der Folge, einer Längung oberhalb der Biegelinie.

5 Wenn beispielsweise ein offenes, halb offenes oder geschlossenes Hohlprofil zweidimensional gebogen wird, ergibt sich nach dem Biegevorgang ein bogenförmiges, in der XY-Ebene liegendes Profil. Es ist durch eine Bogenaußenseite und eine Bogeninnenseite definiert, wobei an der Bogenaußenseite die sogenannte Walzrolle anliegt, während an der Bogeninnenseite die sogenannte Mittelrolle anliegt.

10 Bei der Erzeugung eines solchen Bogens kommt es an der Bogenaußenseite zu einer Längung des Profils um das Maß  $l + \Delta l$ , während auf der Bogeninnenseite die Länge  $l$  beibehalten bleibt. Dies gilt für den Fall, dass sich die Biegelinie auf der Bogeninnenseite befindet. Das bedeutet, dass der gesamte Profilquerschnitt von der Bogeninnenseite aufwärts ausgewalzt wird.

15 Dadurch kommt es durch den Auswalzeffekt der Walzrolle auf der Bogenaußenseite zu einer Längung des Materials, mit einhergehend wird ein kontrollierter Materialfluss in die Länge erzeugt, um so die Bogenaußenseite zu erzeugen. Nachfolgend werden der besseren Übersichtlichkeit wegen die beiden (in der Regel planparallel einander zugeordneten) Wände, an denen die Walzrolle und die Mittelrolle anliegen, als „Stirnwände“ bezeichnet. Die senkrecht hierzu sich erstreckenden Wände werden als „Seitenwände“ bezeichnet.

25 Die Erfindung beschäftigt sich nun mit den in der bogenaußenseitigen Stirnwand entstehenden Materialflüssen, die erfindungsgemäß über die neuartigen – an den Seitenwänden wirkenden - Pendelwalzrollen über die zugeordneten Seitenwände bis zur bogeninnenseitigen Stirnwand umgelenkt werden.

30 Erfindungsgemäß sind nun obere und untere Pendelwalzrollen angeordnet, die sich jeweils an der oberen und unteren Seitenwand anlegen. Diese nehmen den Materialfluss von der Bogeninnen- und Bogenaußenseite auf und verteilen ihn je nach Eindringtiefe und Schrägstellung der Pendelwalzrollen in die gesamte Auflagefläche der oberen und unteren Seitenwand.

Daher kommt es nicht mehr zu den vorher beschriebenen, nachteiligen Gefügeveränderungen durch Reck-, Scher- und Stauchkräfte, weil ein Gefügefluss des Materials, induziert durch die oberen und unteren Pendelwalzrollen in die obere und untere Seitenwand stattfindet.

5

Sind beispielsweise die Wandstärken eines zu biegenden Profils gleich stark, kann durch entsprechende Querschnittsveränderungen auf Grund der vorbeschriebenen und berechneten Materialverschiebungen an der Profilwandung die Biegelinie so gelegt werden, dass der Stauchbereich an der Profilbogeninnenseite weitestgehend entfällt. Es gibt daher keine Stauchkräfte mehr, die Deformationen verursachen können. Eine solche Verlegung der Biegelinie wird durch das Auswalzen an den Seitenwänden erzielt. Daher wird dieses Verfahren auch als Auswalzbiegen bezeichnet.

10

15 Bei diesem Auswalzbiegen sind die oberen und unteren Pendelwalzrollen in ihrer Achslage gegen die Planparallelität des zu biegenden Profils gegeneinander konisch angestellt.

20

Es wird daher auf den beiden oberen und unteren Seitenwänden an der Bogenaußenseite eine stärkere Auswalztiefe erreicht, als vergleichsweise an der Bogeninnenseite.

25

Die Anstellung der Achslage der beiden oberen und unteren Pendelrollen ist demzufolge so, dass die Pendelrollen an der oberen und unteren Seitenwand an der Bogenaußenseite eine relative Eindringtiefe in das Material haben, wohingegen diese Eindringtiefe in Richtung auf die Bogeninnenseite auf 0 eingestellt auslaufen kann.

30

Damit wird erreicht, dass sogar die an und für sich notwendig vorhandene Biegerolle entfallen kann und nur durch diese Anstellung der beiden Pendelwalzrollen im Zusammenwirken mit der Horizontal-Walz- und Mittelrolle bereits schon eine bogenförmige Umformung des Profils stattfindet. Es bedarf keiner weiteren



Biegerolle mehr, die sich im axialen Abstand von den vorher genannten Mittel- und Walzrollen an die Bogenaußenseite des Profils anlegt und dieses umformt.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf den Wegfall der Biegerolle beschränkt.

- 5 Es kann auch vorgesehen sein, dass die Biegerolle noch vorhanden ist und dass die hier vorgesehenen, erfindungsgemäßen Pendelwalzrollen, die an der oberen und unteren Seitenwand des Profils einwirken, noch zusätzlich vorhanden sind.

- 10 Wichtig bei dieser Ausführung ist, dass die Biegelinie an die Bogeninnenseite verlegt wird und hierdurch ein Gefügefluss von der Bogenaußenseite in Richtung auf die Bogeninnenseite induziert wird. Dies wird durch unterschiedlich einstellbare Achslängswinkel der Pendelwalzrollen und deren Eindringtiefen in das umzuformende Material erreicht.

- 15 Bei diesem Auswalzbiegen ist ferner noch wichtig, dass auch die auf der Bogeninnen- und -außenseite stattfindenden Materialverschiebungen mit berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck ist es vorgesehen, dass die außenbogenseitige Rolle (Walzrolle) planparallel (oder mit Schrägstellung) gegen die Bogenaußenseite des Profils zugestellt wird, während die an der Bogeninnenseite
- 20 anliegende Rolle (Mittelrolle) planparallel oder mit Schrägstellung gegen die Bogeninnenseite zugestellt wird.

- Hierbei wird die Eindringtiefe der an der Bogenaußenseite anliegenden Rolle (Walzrolle) von den senkrecht hierzu liegenden, an den Seitenwänden einwirkenden
- 25 Pendelwalzrollen aufgenommen und in die Seitenwände hinein umgeleitet und über die Seitenwände hinweg zur Bogeninnenseite geleitet.

- Wichtig ist, dass sich zwischen der an der Bogenaußenseite befindlichen Rolle (Walzrolle) und der sich senkrecht daran anschließenden Pendelwalzrolle kein Spalt
- 30 oder Freiraum am umzuformenden Profil ergibt. Diese Rollen sollten also möglichst das umzuformende Profil formschlüssig umschließen, um ein Ausweichen, Ausbeulen und dgl. in diesem Spaltbereich zu vermeiden.

Um diese Wirkung zu erzielen, ist es maschinenbautechnisch notwendig, die Pendelwalzrolle in ihrer Längsachse verschiebbar auszubilden, so dass diese während des Biegevorganges dem umzuformenden Profil folgt.

- 5 Es wird also nur das Wandvolumen  $\Delta V$  von Stirn- und Seitenwänden des gebogenen Profils von der Bogenaußenseite in Richtung Bogeninnenseite mit abnehmendem  $\Delta V$  auf eine Längenvergrößerung verschoben. Damit wird sichergestellt, dass auf der Bogeninnenseite keine Materialanhäufung mehr stattfinden, sondern dass diese Materialveränderungen der Bogenaußenseite  $\Delta V_{\max}$  zur Bogeninnenseite mit  $\Delta V_{\min}$  in einen entsprechenden Längenzuwachs umgewandelt werden.

- 10 Die Erfindung ist nicht darauf beschränkt, dass beim sogenannten Auswalzbiegen lediglich die an den Seitenwänden anliegenden Pendelrollen gegeneinander konisch angestellt werden. Es kann in einer weiteren Ausführungsform auch vorgesehen sein, dass bei bestimmten Profilformen und besonderen Wandstärken auch die an der Bogeninnen- und -außenseite anliegenden Walz- und Mittelrollen entsprechend pendelnd ausgebildet sind und dementsprechend auch gegeneinander angestellt werden können.

- 15 20 Wenn man beim Auswalzbiegen unterschiedliche Wandstärken im zu biegenden Profil hat, ist es zweckmäßig, auch die Walz- und Mittelrollen, welche an den Bogeninnen- und -außenseiten anliegen, in ihrer Eindringtiefe in das Profil unterschiedlich anzustellen (zu schrägen).

- 25 25 Nachfolgend wird als zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Lehre das sogenannte Schwerkraftbiegen dargestellt.

- 30 Bei diesem Schwerkraftbiegen bleibt die Biegelinie in der Schwerkraftlinie, d. h. etwa in der Mitte des zu biegenden Profils, wenn es sich um ein symmetrisches Profil handelt.

Wichtig bei dieser Schwerkraftbiegung ist, dass die oberen und unteren Pendelwalzrollen, welche an den oberen und unteren Seitenwänden anliegen,

entweder pendelnd schräg gegeneinander gestellt werden können, oder dass diese eine doppelt konische Lauffläche aufweisen.

- 5 Das Schwerkraftbiegen beschreibt einen Biegezustand, bei dem das Profil über die Neutrallinie, also Schwerkraftlinie, im Bogenaußenbereich durch Strecken eine Wandstärkenausdünnung und -längung über die Schwerkraftlinie hinaus erfährt.

Am Ort der Schwerkraftlinie beginnt die Wandstärke mit dem Volumen zuzunehmen, was von der Schwerkraftlinie bis zur Bogenaußenseite verdrängt wurde.

10

In anderen Worten:

1. Was außen an Volumen abnimmt, nimmt innen an Volumen zu.
2. Was an Längung außen zunimmt, nimmt innen an Längung ab.

15

Diese Regel gilt für ein im Querschnitt und Wandung symmetrisch ausgebildetes Profil.

Dieser physikalische Vorgang bewirkt auch eine, wenn auch minimale Abwicklungsreduzierung durch die Verschiebung der Schwerkraftlinie nach innen.

20

Die Schwerkraftlinie, d. h. der Schwerpunkt, verschiebt sich um das Maß X zur Bogeninnenseite hin; hervorgerufen durch die Material-Volumenverschiebung.

25

Der Profillinienquerschnitt bleibt durch das Dornschaftwerkzeug weitestgehend erhalten.

Diese Erkenntnis bildet die Grundlage für die Volumenberechnung zur Ermittlung der diversen Walzeindringtiefen an den Profilwänden und die dadurch kontrolliert einstellbaren Radien eines zu biegenden Profils.

30

Die Pendelwalzrollen werden nun entsprechend den oben genannten physikalischen Verschiebungs-Phänomenen und den hieraus errechneten Volumenänderungen im Stirn- und Seitenwandbereich eingestellt.

Die Ausdünnung im Bogenaußenbereich, die Andickung im Bogeninnenbereich sowie die konische Seitenwandveränderung werden nun gezielt in maßgenauer Einstellung der Pendelwalzrollen ausgewalzt.

5 Vorteil der Schwerkraftbiegung ist:

1. Ein hochduktilen Gefüge (d. h. keine Verzerrungen, Mikro- oder Makrorisse im Gefüge).
2. Saubere Außen- und Innenkontur des Profilquerschnittes (also keine Verwerfungen, Beulungen, Wellungen in der Profilwand).
- 10 3. Hohe Maßhaltigkeit des Profilbogens sowie des Profilquerschnitts.
4. Bessere Oberflächenbeschaffenheit des Profils nach dem Biegen.
5. Höhere Biegeleistung.
6. Biegeteile in einem einzigen Arbeitsgang gebogen.
7. Frei wählbare Biegekontur.
- 15 8. Kleinstmögliche Radien und Kurven werden mit einem einzigen Biegewerkzeug gebogen.

20 Durch die Stauchkräfte kommt es von der Biegemittellinie des Profils zu einer Zunahme des Materials in Richtung auf die Bogeninnenseite in gleicher Größe, wie die Materialabnahme an der Bogenaußenseite.

25 Als dritte Ausführungsform der Erfindung wird das sogenannte Stauchwalzbiegen näher beschrieben. Hierbei sind wiederum obere und untere Pendelwalzrollen vorhanden, in Verbindung mit einer axial zu den vorher genannten Rollen versetzt angeordneten Biegerolle.

30 Die Biegelinie wird hierbei zur Bogenaußenseite hin verlegt und die konische Materialandickung der Seitenwände werden in die Bogeninnenwand umgelenkt. Die Hauptstauchkräfte entstehen an der Bogeninnenwand durch Kürzung der Bogenabwicklung.

Das Stauchwalzbiegen verwendet einander gegenüberliegende, gebremste Mittel- und Walzrollen, d. h., die Geschwindigkeit der jeweilig an der Profilaußen- und -

innenseite sich anlegenden Rolle ist geringer als die Geschwindigkeit des Profils durch den Biegespalt. Zusätzlich sind an der Bogeninnen- und -außenseite sogenannte Bremsschuhe angeordnet, welche den Widerstand auf das zu biegende Profil erhöhen und somit in der Biegeachse ein starker Staucheffect entsteht.

5

Allgemein liegt allen drei Biegeverfahren die Erkenntnis zugrunde, dass durch symmetrische bzw. asymmetrische Volumenverschiebungen eines Profilquerschnittes durch Auswalzen mit Pendelwalzrollen, die an den oberen und unteren Seitenwänden anliegen, eine Störung des Gefügebauwerks vermieden wird.

10

Die Innengeometrie (das ist die Innenquerschnittsform) eines Profils bleibt maßlich unverändert beibehalten.

15

Wichtig ist, dass das Innenmaß des Profils beibehalten wird und lediglich die Außenmaße des Profils im Sinne einer Volumenverschiebung verändert werden. Hierbei bleibt das Profillinienmaß konstant.

20

Alternativ wird nachfolgend als weitere Möglichkeit beschrieben, dass das Profilaußenmaß konstant bleibt. Dies wird durch einen flexiblen, verstellbaren Dornschaft erreicht, der die im Innern des Profils entstehenden Waddickenveränderungen aufnimmt. Von der Außenseite her sieht man daher dem gebogenen Profil nicht an, dass es unterschiedlich ausgewalzte Wandstärken im gebogenen Innenbereich aufweist.

25

Die Biegelinie ist hierbei die Linie, an der die Kräfte für das Strecken und Stauchen sich aufbauen und das entsprechende Profil verformen.

30

Hierbei ist für die Erfindung bei allen Ausführungen wichtig, dass die vorliegende Erfindung nicht nur auf ein zweidimensionales Verformen eines Profils gerichtet ist, sondern dass mit der Anordnung von entweder konturierten oder pendelnden Walzrollen zusätzlich erreicht werden kann, dass aus einem zweidimensionalen Profil eine Wendel (in dreidimensionaler Form) gebogen werden kann. Beim Wendelbiegen kann sogar die Biegerolle und ebenso die anderen bekannten

Zusatzeinrichtungen entfallen, weil diese Wendelform allein durch die Volumenverschiebung (aufgrund der Pendelwalzrollen) erzielt wird.

5 Dies wird durch konisches Anstellen der Mittelrolle und der gegenüberliegenden Walzrolle erreicht.

Hierzu dienen nach wie vor die oberen und unteren Pendelwalzrollen für den gewünschten Gefügefluss und für den Radius der Biegung.

10 Der Erfindungsgegenstand der vorliegenden Erfindung ergibt sich nicht nur aus dem Gegenstand der einzelnen Patentansprüche, sondern auch aus der Kombination der einzelnen Patentansprüche untereinander.

15 Alle in den Unterlagen, einschließlich der Zusammenfassung offenbarten Angaben und Merkmale, insbesondere die in den Zeichnungen dargestellte räumliche Ausbildung, werden als erfindungswesentlich beansprucht, soweit sie einzeln oder in Kombination gegenüber dem Stand der Technik neu sind.

20 Im Folgenden wird die Erfindung anhand von mehreren Ausführungswege darstellende Zeichnungen näher erläutert. Hierbei gehen aus den Zeichnungen und ihrer Beschreibung weitere erfindungswesentliche Merkmale und Vorteile der Erfindung hervor.

Es zeigen:

25

Fig. 1: schematisiert die Biegung eines zweidimensionalen Profils;

30

Fig. 2: die Verformung eines Profils bei der Biegung nach Figur 1, wenn auf einen in der Biegezone mitgeführten Dornschaft verzichtet wird;

Fig. 3: schematisiert die Draufsicht auf eine Biegevorrichtung in einer ersten Ausgestaltung;

Fig. 4: Schnitt gemäß der Linie A-A in Figur 3;

Fig. 5: die vergrößerte Darstellung des zu biegenden Profils unter Einwirkung der Rollen beim Schwerkraftbiegen;

5

Fig. 6: die vergrößerte Darstellung des zu biegenden Profils unter Einwirkung der verschiedenen Rollen beim Auswalzbiegen;

Fig. 7: eine zweite Ausführungsform einer Biegevorrichtung in Draufsicht;

10

Fig. 8: Schnitt gemäß der Linie A-A in Figur 7;

Fig. 9: Schnitt gemäß der Linie B-B in Figur 7;

15

Fig. 10: eine vergrößerte Darstellung eines zu biegenden Profils beim Stauchwalzbiegen mit einer Vorrichtung nach Figuren 7 bis 9.

Fig. 11: Schnitt durch die Biegewalzzone des Profils mit den vier anliegenden Rollen

20

Fig. 12: Schematisiert die Darstellung der Umformvorgänge im Schnitt

In Figur 1 wird ein symmetrisches Hohlprofil (als Profil 1 bezeichnet) durch symmetrisches Biegeumformen in ein gebogenes Profil umgeformt.

25

Der Vereinfachung wegen ist nicht dargestellt, dass an der Einlaufseite des Profils 1 noch zusätzliche Stützrollen 5, 6 gemäß Figur 3 angeordnet sind.

30

Wichtig ist beim Vergleich der Figur 1 mit Figur 3, dass an der Bogenaußenseite (äußere Stirnwand) eine Walzrolle 4 anliegt, während an der Bogeninnenseite (innere Stirnwand) eine Mittelrolle 3 anliegt. Die beiden Rollen sind entweder beide oder nur eine von beiden ist drehend angetrieben.

Im Innenraum des Hohlprofils verläuft eine Dornstange 7, an deren vorderem Ende ein Dornschaft 8 angeordnet ist, der entsprechende Stützelemente 9, 10 aufweist.

5 Diese Stützelemente 9, 10 sind hoch verschleißfeste Stützkörper, die sich an der Innenseite des Profils 1 im Bereich der Biegezone anlegen.

Die Biegezone wird hierbei durch die Gegenüberstellung der Mittelrollen 3 und 4 gebildet.

10 Das Profil kann im Übrigen noch in Pfeilrichtung 2 mit einer nicht näher dargestellten Schubvorrichtung durch die Biegezone hindurch geschoben werden.

Figur 1 zeigt, dass an der Bogenaußenseite 53 die Walzrolle 4 anliegt, während an der Bogeninnenseite 52 die Mittelrolle 3 anliegt. Hierdurch wird erreicht, dass  
15 beispielsweise die Bogeninnenseite mit einem Biegeradius 15 gebogen wird, während die Bogenaußenseite 53 mit einem Biegeradius 14 gebogen wird.

Um die Biegung überhaupt zu ermöglichen, ist im axialen Abstand von der Biegezone eine Biegerolle 11 an der Bogenaußenseite 53 angeordnet, die  
20 entsprechend der Darstellung in die Stellung 11' verschiebbar ist, um so mit einer zustellbaren Kraft auf die Bogenaußenseite 53 des zu biegenden Profils einzuwirken.

Die Biegerolle 11 wirkt im Prinzip gegen den Widerstand der Stützrollen 5, 6, insbesondere der Stützrolle 6, während die Stützrolle 5 nur Führungsaufgaben hat.  
25

Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass an der oberen Seitenwand 50 eine obere Pendelwalzrolle 12 formgebend anliegt, während an der unteren Seitenwand 51 eine untere Pendelwalzrolle 13 formgebend anliegt.

30 Dies ist neu und war bisher noch im Stand der Technik beschrieben.

Die Anordnung der oberen und unteren Pendelwalzrollen 12, 13 ist in Figur 1 ebenfalls schematisiert dargestellt.



Erfindungsgemäß ist nun in einer ersten Ausführungsform vorgesehen, dass diese beiden Pendelwalzrollen 12, 13 in ihrer Achslage (bezüglich der Horizontalachse 21) pendelnd ausgebildet sind, d. h. die obere Pendelwalzrolle 12 kann in Pfeilrichtung 18 auf die Schwenkachse 22a verschwenkt werden und die untere Pendelwalzrolle 13 kann in Pfeilrichtung 19 auf die untere Schwenkachse 22b verschwenkt werden.

Damit ist klargestellt, dass die beiden Pendelwalzrollen 12, 13 konisch gegeneinander gestellt sind und hierbei eine größere Eindringtiefe auf die jeweilige Seitenwand 50, 51 an der Bogenaußenseite 53 aufweisen, als vergleichsweise auf die Seitenwand 50, 51 in Richtung auf die Bogeninnenseite 52.

Vielmehr ist es in einer bevorzugten Ausgestaltung vorgesehen, dass die Eindringtiefe an der Bogenaußenseite 53 maximal ist, während sie an der Bogeninnenseite 52 gegen 0 ausläuft.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist es vorgesehen, dass nicht nur die Pendelwalzrollen 12, 13, die den oberen und unteren Seitenwänden 50, 51 zugeordnet sind, schwenkbar und anschrägbar ausgebildet sind, sondern dass auch noch zusätzlich die Walzrolle 4 und/oder die Mittelrolle 3 ebenfalls schwenkbar ausgebildet sind. Eine solche Verschwenkung kann hierbei in den Pfeilrichtungen 16, 17 stattfinden.

Im Ausführungsbeispiel nach Figur 1 und 4 wird somit die obere Pendelwalzrolle 12 im Uhrzeigersinn nach Pfeilrichtung 18 gegen die obere Seitenwand 50 verschwenkt, während die untere Pendelwalzrolle 13 im Gegenuhrzeigersinn (Pfeilrichtung 19) gegen die entsprechende Seitenwand 51 verschwenkt wird.

Die Figur 2 zeigt nun, dass, wenn bei Entfernung der entsprechenden Führungsmittel das Profil umgeformt wird, sich aus einem Profil 1 das unerwünscht verformte Profil 1' ergibt, welches an der Bogenaußenseite 53 eine entsprechende Einbeulung nach innen mit einer entsprechenden Kürzung des Breitenmaßes erfährt, wobei eine gleichzeitige Materialausdünnung stattfindet.

An der Bogeninnenseite 52 ist eine Materialzunahme zu vergegenwärtigen, wobei diese Zunahme sich in einer entsprechenden Einbeulung und Wandstärkenverdickung verteilt.

- 5 Dieses Phänomen geschieht vor allem dann, wenn im Innenraum des Profils kein Dornschaft 8 mitgeführt wird und Streckkräfte außen und Stauchkräfte innen das Profil in der gezeigten Form deformieren.

- 10 Erfindungsgemäß ist nun gemäß Figur 4 vorgesehen, dass die an den Seitenwänden 50, 51 anliegenden Pendelwalzrollen 12, 13 jeweils mit der Walzkraft  $F_2$  und  $F_3$  gegen die Seitenwand 50, 51 geführt werden und hierbei gleichzeitig in Pfeilrichtung 18, 19 gegeneinander verschwenkt werden.

- 15 Beim Auswalzbiegen ergibt sich somit ein konisches Seitenwandprofil des gebogenen Profils 1', wie dies in Figur 4 dargestellt ist.

- 20 Es findet eine Andickung des Profilquerschnittes im Bereich der Mittelrolle 3 auf der Bogeninnenseite statt, während im Bereich der Bogenaußenseite eine Profilverdünnung stattfindet. Im Seitenwandbereich der Seitenwände 50, 51 wird hierbei das Material konisch verteilt.

Die Figur 5 zeigt die Profilmformung im vergrößerten Maßstab beim Schwerkraftbiegen.

- 25 Hierbei sind die jeweiligen Rollen 3, 4, 12, 13 nur andeutungsweise dargestellt, und zwar nur im Bereich ihrer Laufflächen bei der Einwirkung auf die jeweiligen Außenseiten des umzuformenden Profils 1.

- 30 Die Übertragung der Zeichnungsfigur 5 auf die Zeichnungsfigur 1 bedeutet, dass praktisch aus der Zeichenebene der Figur 5 das Profil in Pfeilrichtung 26 heraus nach oben abgebogen wird.

Hierbei ist wichtig, dass die Walzrolle 4 in Pfeilrichtung 46 (Zustellrichtung) in den Außenbogen 29 zugestellt wird. Die Biegeachse 54 verläuft durch die Null-Linie 30.

5 Der vorherige, unverformte Außenbogen 29 verwandelt sich in den verformten Außenbogen 29'. Dies ist mit einer Materialausdünnung 43 verbunden. Die Materialausdünnung 43 ergibt sich durch den Unterschied zwischen dem unverformten Außenbogen 29 und dem nach der Biegung sich ergebenden Außenbogen 29'. Die bei der Umformung entstehenden Reckkräfte führen zu der besagten Materialausdünnung 43.

10

Im Bereich der Seitenwände, wo die entsprechenden Pendelwalzrollen 12, 13 einwirken, kommt es zu einer konischen Materialausdünnung 31, wie sie als dünne, keilförmige Flächen 31 dargestellt sind, die sich senkrecht von der vertikalen Materialausdünnung 43 auf der Bogenaußenseite in Richtung zur Bogeninnenseite erstrecken.

15

An der Biegeachse 54 im Bereich Null-Linie 30 verschwindet diese keilförmige Materialausdünnung 31.

20

Jenseits der Biegelinie 30 in Richtung auf den Innenbogen 28 ergibt sich wiederum eine Materialzunahme 32, die von der Biegelinie 30 ausgehend als schmaler, keilförmiger Keil sich in Richtung auf die Bogeninnenseite 52 hin vergrößert.

Hierbei ergibt sich zwischen der Materialausdünnung 31 und der Materialzunahme 32 eine gleiche Volumenauswechslung.

25

Wichtig ist nun, dass die jeweiligen Pendelwalzrollen 12, 13 eine besonders konturierte Lauffläche aufweisen und selbst nicht pendelnd oder angeschrägt an die jeweiligen Seitenwände zustellbar sind.

30

Die Lauffläche 25 der jeweiligen Pendelwalzrolle 12, 13 ist so angeschrägt, dass der Laufflächenteil 25a von der Biegelinie 30 beginnend bis zum Außenbogen 29 konisch ansteigt. Damit wird eine im Außenbogen wirkende, maximale Eindringtiefe der

Pendelwalzrollen 12, 13 erreicht. Diese Eindringtiefe unterstützt die Bogenlängung, d. h. die Längenzunahme auf der Bogenaußenseite 53.

5 Von der Biegelinie 30 rechts verlaufend, in Richtung auf die Bogeninnenseite 52 bzw. auf den Innenbogen 28, ist hingegen die Lauffläche 25b der jeweiligen Pendelwalzrolle 12, 13 genau zylindrisch ausgebildet. Dies führt dazu, dass die im Seitenwandbereich 50, 51 entstehende Materialzunahme 32 in konischer Form in Pfeilrichtung 33 in den Innenbogen 28 umgelenkt wird. Dies erfolgt dadurch, dass die  
10 jeweiligen Pendelwalzrollen 12, 13 gegen die jeweilige Seitenwand 50, 51 symmetrisch und nicht angeschrägt zugestellt werden, wodurch die Materialzunahme 32 in Pfeilrichtung 33 in den Innenbogen 28 verdrängt wird und dort die spätere Innenbogenform 28' einnimmt.

15 Daher kommt es auf der Bogeninnenseite 52 zu einer Materialzunahme 32', so dass das links bestehende Ausdünnungsmaß 36 an der Walzrolle 4 somit über die Pendelwalzrollen 12, 13 nach rechts in Richtung zur Bogeninnenseite verschoben wird, und zwar auf die Linie der Materialzunahme 32'.

20 Durch die konischen Materialzuwächse der Materialzunahmen 32 entsteht im Bereich der Innenwand des Innenbogens 28 eine Materialandickung 34.

Die Mittelrolle 3 hat nur formgebenden Charakter in der Weise, dass das Profil der Bogeninnenseite 52 entsprechend nur abgestützt wird.

25 Die hierbei entstehende Materialzunahme 44 resultiert aus der Volumenverschiebung aus den beiden Keilen der in der Seitenwand entstehenden Materialzunahme 32.

30 Die Kräfte, die durch Recken und Stauchen entstehen, sind gleich groß, jedoch mit unterschiedlichen Vorzeichen. Dies ist durch die Schräge symbolisiert, welche besagt, dass die Kräfte im Bereich der Mittelachse 23 und Biegeachse 54 auf 0 sind, während sie im Bereich des Außenbogens 29 mit Minus angegeben sind.

Abnehmend bedeutet, sie auf dem Innenbogen 28 mit Plus angegeben sind und daher maximal sind.

5 Auf der Bogenaußenseite entsteht daher eine Streckkraft, während auf der Bogeninnenseite eine Stauchkraft entsteht.

Die auf dem Außenbogen 29 entstehende Ausdünnung 27a wird demzufolge in eine auf dem Innenbogen 28 in gleicher Größe in die Stauchdicke 27 umgesetzt.

10 Mit 35 ist die seitliche Begrenzung der Lauffläche 35 der Pendelwalzrolle beschrieben, die mit der Bewegung der Walzrolle in Richtung auf die Lauffläche 35 verschoben wird.

In Figur 6 wird eine Anordnung zum Auswalzbiegen beschrieben.

15 Bei dieser Anordnung ist wesentlich, dass die Pendelwalzrollen 12, 13 nicht eine besonders konturierte Lauffläche 25 aufweisen, sondern dass die Pendelwalzrollen 12, 13 insgesamt um einen Winkel 45 (Winkel  $\alpha$ ) angeschrägt werden, und zwar von dem Außenbogen 29 an verlaufend in Richtung auf den Innenbogen 28.

20 Die Biegelinie verschiebt sich nun von dem Schwerpunkt in der Mittelachse 23 in Richtung auf die Biegelinie 30 auf den Innenbogen 28.

25 Wichtig beim Auswalzbiegen ist, dass eine Biegerolle 11 nicht unbedingt benötigt wird, sondern die formgebende Biegung nur durch die konische Anstellung der Pendelwalzrollen 12, 13 unter Zuhilfenahme der Zustellung der Walzrolle 4 und Mittelrolle 3 erfolgt.

30 Hierbei wird die Mittelrolle 4 in Pfeilrichtung 46 (Zustellrichtung) gegen den Außenbogen 29 zugestellt, wodurch es zu einer Materialausdünnung 43 kommt und diese Materialausdünnung 43 in einen Längenzuwachs an dem Außenbogen 29 umgesetzt wird.

Gleichzeitig wird die Materialausdünnung 43 im Bereich der Seitenwände in eine keilförmig verlaufende Materialausdünnung 31 umgesetzt, die bis zur Bogeninnenseite am Innenbogen 28 gegen 0 ausläuft.

- 5 Bei dieser Auswalzbiegung befindet sich die Biegelinie 30 auf der Bogeninnenseite des Innenbogens 28.

- Wichtig hierbei ist, dass die beiden Pendelwalzrollen 12, 13 in den Pfeilrichtungen 18, 19 gegeneinander angeschrägt werden, wobei die Eindringtiefe auf der linken  
10 Seite auf das Profil der Materialausdünnung 43 entspricht. Alle drei Auswalzungen, nämlich die Auswalzung mit der Walzrolle 4 und den Pendelwalzrollen 12, 13, geschehen zur gleichen Zeit.

- Aus diesem Grunde kommt es auf der Bogeninnenseite zu einer Materialzunahme  
15 56.

- Die Flächenpressung der Walzrolle 4 auf den Außenbogen 29 ist etwa um das 3fache höher, als vergleichsweise die Flächenpressung der an dem Innenbogen 28 anliegenden Mittelrolle 3. Hierdurch kommt es zu einer Eindringtiefe von z. B. 4 mm  
20 im Bereich Außenbogens 29 und zu einer Eindringtiefe von 1,3 mm im Bereich des Innenbogens 28 für die entsprechenden Walzen 4, 3.

- Das Ausführungsbeispiel nach Figur. 6 ist also dadurch gekennzeichnet, dass die obere Pendelwalzrolle 12 gegenüber der unteren Pendelwalzrolle 13 konisch  
25 angeschrägt angestellt ist, so dass eine größere Eindringtiefe dieser beiden Pendelwalzrollen 12, 13 an dem Außenbogen 29 als vergleichsweise an dem Innenbogen 28 erfolgt.

- Am Innenbogen 28 ist die Eindringtiefe 0, dort, wo die Biegelinie 30 verläuft.

30

Das ganze Biegegeschehen erfolgt in der Biegeachse 54. Bei allen drei Ausführungsbeispielen ist im Übrigen wesentlich, dass der Innenraum des Profils 1, 1' in dieser Biegeachse 54 stets durch den dort positionsgenau gehaltenen

Dornschaft 8 stabilisiert wird, um so stets das Innenmaß des Profils 1 stabil aufrechtzuerhalten. Die Aktionskraft der Walzrolle 4 wird demzufolge über das Profil und dem im Profillinienraum gehaltenen Dornschaft 8 auf die Mittelrolle übertragen.

- 5 Ebenso werden erfindungsgemäß die Pendelwalzrollen 12, 13 gegen die entsprechenden Seitenwände 50, 51 des Profils mit einer einstellbaren Zustellkraft zugestellt, wobei diese Zustellkraft im Bereich von 100 kN liegt.

- 10 Die Zustellkraft der Walzrolle 4 auf den Außenbogen 29 könnte im Bereich von 400 kN liegen, während die Mittelrolle 3 lediglich eine Reaktionskraft erfährt. Die Mittelrolle 3 nimmt hierbei insgesamt 800 kN auf.

- 15 Dies liegt daran, dass die Walzrolle 4 400 kN aufbringt, die nicht dargestellte Biegerolle 11 200 kN auf das Profil aufbringt und hierbei eine Reaktionskraft auf die Stützrolle 5, 6 entsteht. Ferner entstehen an den Pendelwalzrollen 12, 13 entsprechende Aktionskräfte von jeweils 100 kN, so dass insgesamt die Mittelrolle 3 800 kN aufnimmt, wobei die Aktionskräfte der Pendelwalzrollen 12, 13 auf die Mittelrolle 3 keinen Einfluss haben.

- 20 In Figur 7 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer Pendelrollen-Walzbiegemaschine dargestellt, welches das Stauchwalzbiegen beschreibt.

- 25 Hierbei wird die gleiche Vorrichtung verwendet, wie sie bereits schon an Hand der Figur 3 erläutert wurde. Die dort stehenden Erläuterungen gelten deshalb auch für die Figur 7.

- 30 Die Figur 7 zeigt jedoch zusätzlich, dass an dem vorderen freien Ende des Dornschaftes 8 noch eine Gliederkette 39 angeordnet ist, die einzelne Rollenelemente 40 gelenkig miteinander verbindet.

- Hierbei wird sichergestellt, dass im Bereich der Biegeachse 54 und in Auslaufrichtung hinter der Biegeachse 54 die Rollenelemente 40 angeordnet sind, um zusätzlich den inneren Querschnitt des Profils 1' zu stützen.

Es entsteht eine starke Stauchkraft dadurch, dass das Profil in Pfeilrichtung 2 in die Biegezone hineingeschoben wird und die Geschwindigkeit, mit welcher die Mittelrolle 3 und die Walzrolle 4 das Profil 1 antreiben, geringer ist, als die Schubgeschwindigkeit in Pfeilrichtung 2. Hierdurch kommt es zu einem Staucheffect am Profil 1, der noch zusätzlich durch zwei einander gegenüberliegende Bremsschuhe 37, 38 unterstützt wird.

Der Bremsschuh 37 liegt an der Bogenaußenseite 53 an, während der Bremsschuh 38 an der Bogeninnenseite 52 anliegt.

10

Die Figur 8 zeigt weiter, dass nicht nur die Pendelwalzrollen 12, 13 verschwenkbar ausgebildet sind, sondern dass es noch zusätzlich möglich ist, auch die Mittelrolle 3 und die Walzrolle 4 verschwenkbar auszubilden. Die letzteren Rollen 3, 4 werden dann verschwenkbar ausgebildet, wenn nicht nur eine zweidimensionale Biegung des Profils 1 erforderlich ist, sondern wenn dieses Profil wendelförmig gebogen werden soll. Dies ist durch die Pfeilrichtungen in Figur 8 symbolisiert.

15

20

Die Figur 9 zeigt einen Schnitt in Richtung der Linie B-B in Figur 7, wo erkennbar ist, dass sich der Bremsschuh 38 reibungserhöhend an der Bogeninnenseite 52 anlegt und hierbei einen starken Staucheffect erzielt.

25

In der vorher beschriebenen Weise liegt an der oberen Seitenwand 50 die obere Pendelwalzrolle 12 an, während an der unteren Seitenwand 51 die untere Pendelwalzrolle 13 gemäß Figur 8 anliegt.

30

Kennzeichnend für dieses Ausführungsbeispiel ist, dass die Biegelinie 30 nun auf den Außenbogen 29 verlegt ist. Hierbei wird die Biegelinie 30 so verstanden, dass in diesem Bereich keine Kraft auf das Profil 1 einwirkt. Es handelt sich demgemäß um eine Neutrallinie.

Von dieser Biegelinie 30 am Außenbogen 29 beginnt nun die Stauchung auf die Seitenwände 50, 51 in Richtung auf den Innenbogen 28, wobei es im Bereich dieser Seitenwände zu einer konischen Materialzunahme 32 kommt.



Die Pendelwalzrollen 12, 13 haben eine gerade, zylindrische Lauffläche und sind planparallel zum ursprünglichen, ungebogenen Profil 1 ausgerichtet.

5 Während des Biegens entsteht die keilförmige Materialzunahme 32 und es wird im gleichen Augenblick dieses überschüssige Material 32 bei den gleich bleibend unverändert gehaltenen Pendelwalzrollen in den Bereich der Bogeninnenseite 52 umgelenkt, wo es zu einer zusätzlichen Materialzunahme 48 am Innenbogen 28 kommt.

10 Der vorher unverformte Innenbogen 28 stellt sich radial auswärts in Richtung auf den Innenbogen 28', wie dies in Figur 10 dargestellt ist.

Sollte man den Konus 32 im Bereich der Seitenwände 51, 52 belassen, dann würde es bei der Materialzunahme 48 verbleiben. Wird jedoch dieses Material 32 von den 15 Seitenwänden in den Bogeninnenbereich verdrängt, kommt es zu einer zusätzlichen Materialzunahme 32'.

Wenn diese beiden Keile der Materialzunahme 32 im Bereich der Seitenwände 50, 51 aufeinander gelegt werden, entspricht dieses Volumen genau dem Volumen der 20 Materialzunahme 32' im Bereich des Innenbogens 28'.

Die Lauffläche 57 der Mittelrolle hat lediglich dann formenden Charakter, um den vergrößerten Innenbogen 28'' auszuformen.

25 Der Materialzuwachs 48, 32' auf dem Innenbogen 28 stört nicht bei der Verwendung eines solchen Profils.

Aufgrund der gewaltsamen Formgebung und des Auswalzeffektes der Pendelwalzrollen 12, 13 wird jedoch die konische Materialzunahme 32 in den 30 Seitenwänden einwärts verdrängt, so dass die Seitenwände 50, 51 des verformten Profils 1 ihre absolute Planparallelität beibehalten.

Die Abwicklung eines Bogens wird generell immer von einer Biegelinie 30 aus gemessen, die im gezeigten Ausführungsbeispiel auf der Bogenaußenseite 29 ist.

Es kommt auf der Bogenaußenseite (Außenbogen 29) nicht zu einem Materialauswalzeffekt und die Materialverdrängungserscheinungen werden über die Seitenwände 15, 51 in den Innenbogen 28 hinein verdrängt.

Ein solches Stauchwalzbiegen wird dann eingesetzt, wenn die Statik des gebogenen Profils es erforderlich macht, die Wandstärke des Außenbogens 29 und die Wandstärke der Seitenwände 50, 51 auch nach der Umformung gleich bleibt. Die Vergrößerung der Wandstärke im Bereich des Innenbogens 28 ist hierbei unschädlich und erhöht hierbei das Widerstandsmoment des gebogenen Profils.

Die Figuren 11 und 12 zeigen ein Ausführungsbeispiel des Auswalzbiegens mit Volumenverschiebung am Beispiel eines Quadratrohres 200 x 200 x 20 mm:

Berechnung der Volumenverschiebung:

$$U_a/4 = D_a \times \pi/4 = (200 \times 3,14) : 4 = 1.570 \text{ mm}$$

$$U_i/4 = D_i \times \pi/4 = (1600 \times 3,14) : 4 = 1.256 \text{ mm}$$

$$L = 314 \text{ mm}$$

Bei 100 % Auswalzbiegen liegt die Biegelinie, am Innenbogen, d.h. die Abwicklungslänge verändert sich nicht.

25

$$F_i = U_i \times S_i = 1256 \times 20 = 25.120 \text{ mm}^2$$

$S_a = F_a/U_a = 25120 \text{ mm}^2/1.570 \text{ mm} = 16 \text{ mm}$  Wandstärke an Bogenwand aussen, d.h.  $20 - 16 = 4 \text{ mm}$  müssen ausgewalzt werden, die Summe der Volumen bleibt konstant, d.h.  $F_i = F_a$ .

30



Die Seitenwände werden symmetrisch von außen 4 mm konisch nach innen auf 0 ausgewalzt. Im Umkehrverhältnis  $200 : 600 = 1/3$  ist bei einer Eindringtiefe von

außen 4 mm die Eindringtiefe innen  $= 4/3 = 1,33$  mm. Diese Längung innen wird durch die Biegerolle über Stauchen aufgehoben.

5 Hierbei sind in Figur 11 die Eindringtiefe mit 60 und die Auswalztiefe mit 61 bezeichnet. Der einlaufseitige vorhandene Betrag der Eindringtiefe ist mit 60 bezeichnet, während der auslaufseitige (im Vorzeichen entgegen gesetzte) Betrag mit 60' bezeichnet ist. Die Verlegung der Schwerkraftlinie 58 zu der weiter radial einwärts liegenden Schwerkraftlinie 58' erfolgt in Form einer kleinen Stufe 59 in der Biegewalzzone.

10

Zeichnungslegende

- |   |    |                        |
|---|----|------------------------|
|   | 1  | Profil 1'              |
|   | 2  | Pfeilrichtung          |
| 5   | 3  | Mittelrolle            |
|   | 4  | Walzrolle              |
|   | 5  | Stützrolle             |
|   | 6  | Stützrolle             |
|   | 7  | Dornstange             |
| 10  | 8  | Dornschaft             |
|    | 9  | Stützelement           |
|   | 10 | Stützelement           |
|   | 11 | Biegerolle 11'         |
|   | 12 | obere Pendelwalzrolle  |
| 15  | 13 | untere Pendelwalzrolle |
|   | 14 | Biegeradius außen      |
|   | 15 | Biegeradius innen      |
|   | 16 | Pfeilrichtung          |
|   | 17 | Pfeilrichtung          |
| 20  | 18 | Pfeilrichtung          |
|   | 19 | Pfeilrichtung          |
|  | 20 | Mittelachse (Rolle)    |
|   | 21 | Horizontalachse        |
|   | 22 | Schwenkachse 22a, 22b  |
| 25  | 23 | Mittelachse (Profil)   |
|   | 24 | Pfeilrichtung          |
|   | 25 | Lauffläche 25a, 25b    |
|   | 26 | Pfeilrichtung          |
|   | 27 | Stauchdicke 27a        |
| 30  | 28 | Innenbogen 28', 28"    |
|   | 29 | Außenbogen 29'         |
|   | 30 | Biegelinie             |
|   | 31 | Materialausdünnung     |

- 32 Materialzunahme 32'
- 33 Pfeilrichtung
- 34 Materialandickung
- 35 Lauffläche 35'
- 5 36 Ausdünnungsmaß
- 37 Bremsschuh außen
- 38 Bremsschuh innen
- 39 Gliederkette
- 40 Rollenelement
- 10 41 Profilandickung
- 42
- 43 Materialausdünnung
- 44 Materialzunahme
- 45 Winkel  $\alpha$
- 15 46 Zustellrichtung (links)
- 47 Zustellrichtung (rechts)
- 48 Materialzunahme
- 49 Pfeilrichtung
- 50 Seitenwand oben
- 20 51 Seitenwand unten
- 52 Bogeninnenseite
- 53 Bogenaußenseite
- 54 Biegeachse
- 55 Linie
- 25 56 Materialzunahme
- 57 Lauffläche
- 58 Schwerkraftlinie 58'
- 59 Stufe
- 60 Eindringtiefe 60'
- 30 61 Auswalztiefe

Patentansprüche

1. Biegevorrichtung zur Biegeumformung von geschlossenen, halboffenen und offenen Hohlprofilen mit einer an der Innenseite des gebogenen Profils (1, 1') sich anlegenden Mittelrolle (3), einer sich an der Bogenaußenseite anlegenden Walzrolle (4) und einer an der Auslaufseite des Profils angeordneten Biegerolle (11), welche auf die Bogenaußenseite wirkt, und zwar entgegen der Abstützwirkung einer an der Einlaufseite an der Bogenaußenseite anliegenden Stützrolle (5, 6), **dadurch gekennzeichnet, dass** in senkrechter Ebene zur Biegeebene bezüglich der einander gegenüberliegenden Mittel- und Walzrollen (3, 4) weitere Walzrollen (12, 13) angeordnet sind, welche auf die obere und untere Seitenwand (50, 51) des Profils einwirken.
2. Biegevorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die auf die Seitenwände (50, 51) einwirkenden Walzrollen als Pendelwalzrollen (12, 13) ausgebildet sind.
3. Biegevorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in der bogenaußenseitigen Stirnwand entstehenden Materialflüssen, über die an den Seitenwänden (50, 51) wirkenden Pendelwalzrollen (12, 13) über die zugeordneten Seitenwände in die bogeninnenseitige Stirnwand umgelenkt werden.
4. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Auswalzbiegen die oberen und unteren Pendelwalzrollen (12, 13) in ihrer Achslage gegen die Planparallelität des zu biegenden Profils gegeneinander konisch angestellt sind.
5. Biegevorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** an den beiden oberen und unteren Seitenwänden (50, 51) an der Bogenaußenseite eine stärkere Auswalztiefe erreicht wird, als vergleichsweise an der Bogeninnenseite.

6. Biegevorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Pendelrollen (12, 13) an der oberen und unteren Seitenwand (50, 51) an der Bogenaußenseite eine relative Eindringtiefe in das Material haben, wohingegen die Eindringtiefe in Richtung auf die Bogeninnenseite auf 0 ausläuft.
- 5 7. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Biegelinie an die Bogeninnenseite verlegt ist und ein Gefügefluss von der Bogenaußenseite in Richtung auf die Bogeninnenseite induziert ist.
- 10 8. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die außenbogenseitige Rolle (Walzrolle) planparallel gegen die Bogenaußenseite des Profils zugestellt ist, und dass die an der Bogeninnenseite anliegende Rolle (Mittelrolle) planparallel gegen die Bogeninnenseite zugestellt wird.
- 15 9. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** auch die an der Bogeninnen- und -außenseite anliegenden Walz- und Mittelrollen pendelnd ausgebildet sind und gegeneinander angestellt sind.
- 20 10. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schwerkraftbiegen eines symmetrischen Profils die Biegelinie in der Schwerkraftlinie, etwa in der Mitte des zu biegenden Profils, bleibt.
- 25 11. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die oberen und unteren Pendelwalzrollen (12, 13) eine mindestens teilweise konische Lauffläche aufweisen.
- 30 12. Biegevorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Bereich auf eine zentrale (mittlere) Mittellinie von der Biegelinie nach außen die Kontur eine Schräge aufweist, und dass von der Biegelinie in Richtung zur Bogeninnenseite die Kontur der oberen und unteren Pendelwalzrolle (12, 13) planparallel zu der Profilform des ursprünglichen unverformten Profils ist.

13. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Stauchwalzbiegen die Biegelinie zur Bogenaußenseite hin verlegt ist und die Materialandickungen der Seitenwände in die Bogeninnenwand umgelenkt sind.
- 5
14. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Geschwindigkeit der jeweilig an der Profilaußen- und -innenseite sich anlegenden Rolle geringer ist als die Geschwindigkeit des Profils durch den Biegespalt.
- 10
15. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Bogeninnen- und -außenseite Bremschuhe angeordnet sind, die den Widerstand auf das zu biegende Profil erhöhen und in der Biegeachse ein starker Staucheffekt entsteht.
- 15
16. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** neben den Pendelwalzrollen (12, 13), auch die Mittelrolle (3) und die Walzrolle (4) verschwenkbar ausgebildet sind.
- 20
17. Biegevorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** auch die Mittelrolle und die gegenüberliegende Walzrolle konisches neigbar sind.
- 25
18. Verfahren mit einer Vorrichtung nach einem oder mehreren den Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in der bogenaußenseitigen Stirnwand entstehenden Materialflüsse über die zugeordneten Seitenwände in die bogeninnenseitige Stirnwand umgelenkt werden.
- 30
19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Fließform-Biegen ein Gefügefluss in der Biegeachse eines Profils induziert wird, der von der Bogenaußenseite des Profils in Richtung zur Bogeninnenseite verläuft, (Auswalzbiegen).



20. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass beim Fließform-Biegen ein Gefügefluss in der Biegeachse eines Profils induziert wird, der von der Bogeninnenseite des Profils in Richtung zur Bogenaußenseite verläuft, (Stauchwalzbiegen).

5

21. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass beim Fließformbiegen die Schwerkraftlinie(=annäherungsweise Biegelinie) unverschoben erhalten bleibt, dass durch die Stauchkräfte von der Biegemittellinie des Profils ausgehend eine Zunahme des Materials in Richtung auf die Bogeninnenseite stattfindet und dass in gleicher Volumengröße eine Materialabnahme durch Auswalzen an der Bogenaußenseite stattfindet ( ), mit der Folge, dass durch die Auswalzeffekte Stauch- und Streckkräfte durch Auswalzen eliminiert werden, (Schwerkraftbiegen).

10

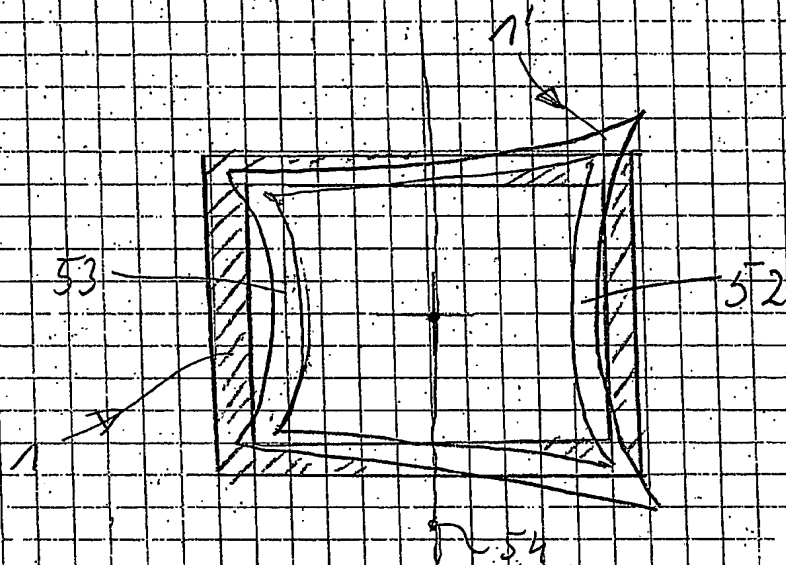
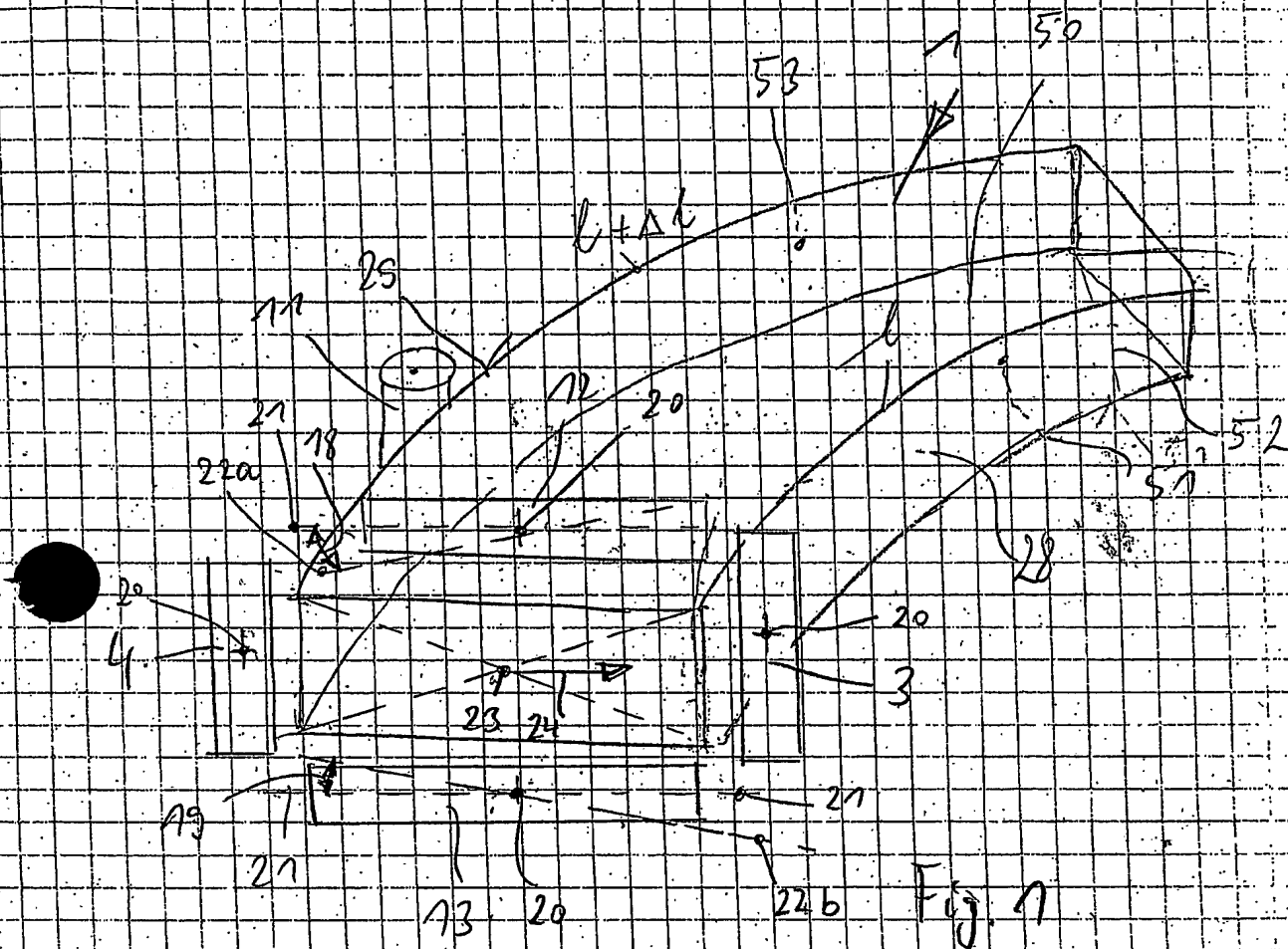
15

### Zusammenfassung

Eine Biegevorrichtung zur Biegeumformung von offenen, halboffenen und geschlossenen Hohlprofilen arbeitet mit einer sich an der Innenseite des gebogenen

- 5 Profils anliegenden Mittelrolle, einer sich an der Bogenaußenseite anliegenden Walzrolle und einer an der Auslaufseite des Profils angeordneten Biegerolle, welche auf die Bogenaußenseite wirkt, und zwar entgegen der Abstützwirkung einer an der Einlaufseite an der Bogenaußenseite anliegenden Stützrolle.

- 10 Um auch die Umformung dünnwandiger, empfindlicher Profile zu ermöglichen ist vorgesehen, dass in senkrechter Ebene zur Biegeebene bezüglich der einander gegenüberliegenden Mittel- und Walzrollen weitere Walzrollen angeordnet sind, welche auf die obere und untere Seitenwand des Profils einwirken.



eingereicht am 22. Jan. 2004

P833

bei passiver Ausnutzung (mit Biegerolle) dem

Schnitth-Biegen

$F_1$

$D_1 = 200$

4

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

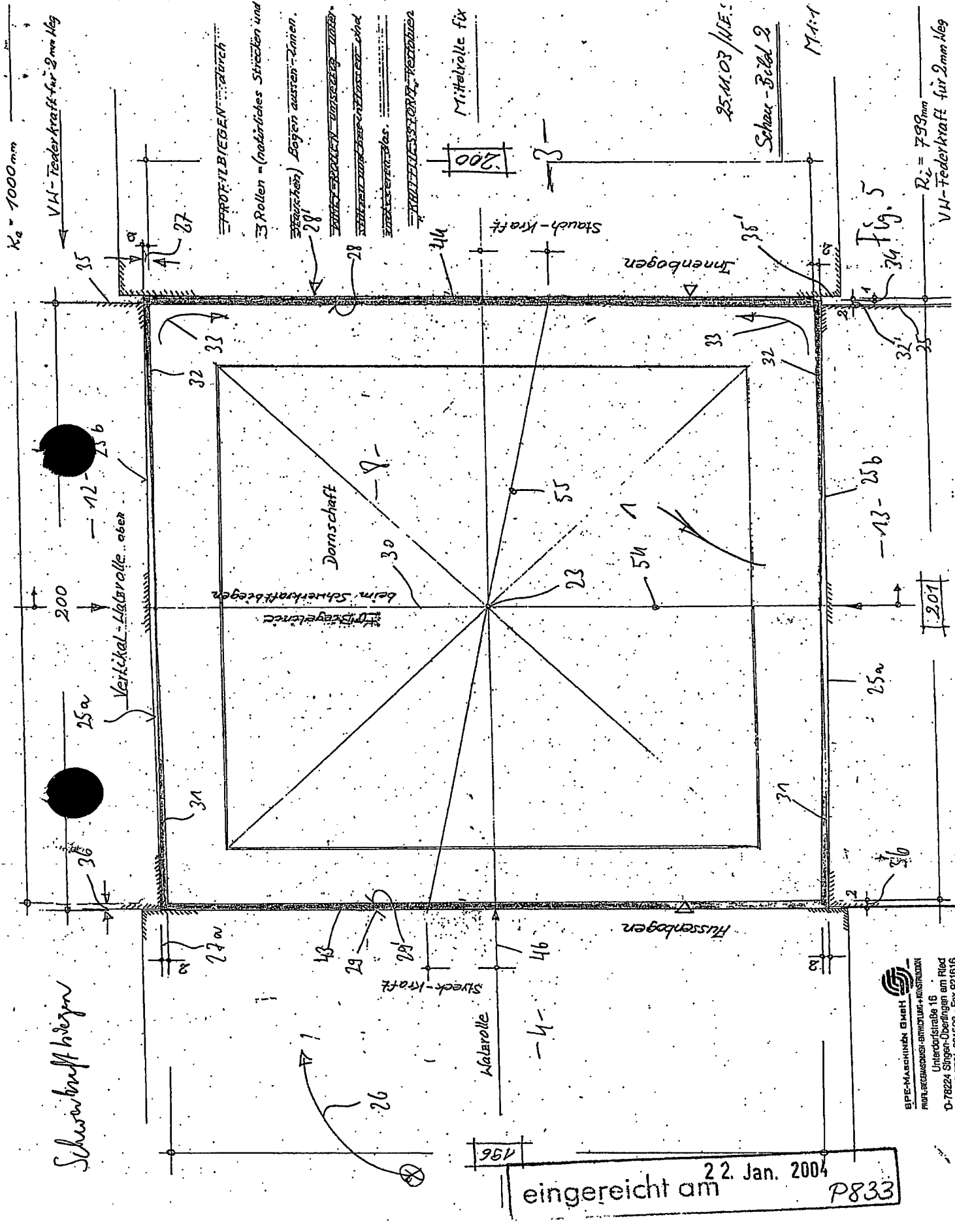
296

297

298

299

Schweißkraftbiegen



Auswahlbogen

Materialrolle Vertikal oben

805,33

$R_2 = 1000 \text{ mm}$

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

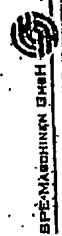
PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

PROFILBLEGEN durch  
kleines Messrad (Volumen-  
Veranschaulichung) des Profilquerschnitts  
(ohne Biegerolle)

eingereicht am 22. Jan. 2004



BIELEFELDER MASCHINEN BIEH  
PROFILBLECH-ENTWICKLUNG-KONSTRUKTION  
Unterdrörsstraße 18  
D-70224 Stuttgart-Oberraden am Neckar  
Tel. +49-7141-821693 · Fax 821616  
E-Mail: management@bpb-eg.com

24.11.03 / M.E.S.

Schau-Bild 1

M 1:1

Fig. 6

$S_1 = 133 \text{ mm}$

Eindringtiefe

$R_2 = 805,33$

$M = 600 \text{ } \phi$

Materialrolle Vertikal unten

Neues Maß zum Bogen

194,67

200 x 20

$S_2 = 400 \text{ mm}$

Eindringtiefe

192

Materialrolle Horizontal

200 x 20

$M = 200 \text{ } \phi$

P833

Stauchwalze

mit Biegerolle 7 gebreiteter Aalröll und Mittelrolle

mit Biegerolle 7 gebreiteter Aalröll und Mittelrolle

mit Biegerolle 7 gebreiteter Aalröll und Mittelrolle

# PENDELROLLEN-WIRTSBIEGEMASCHINE

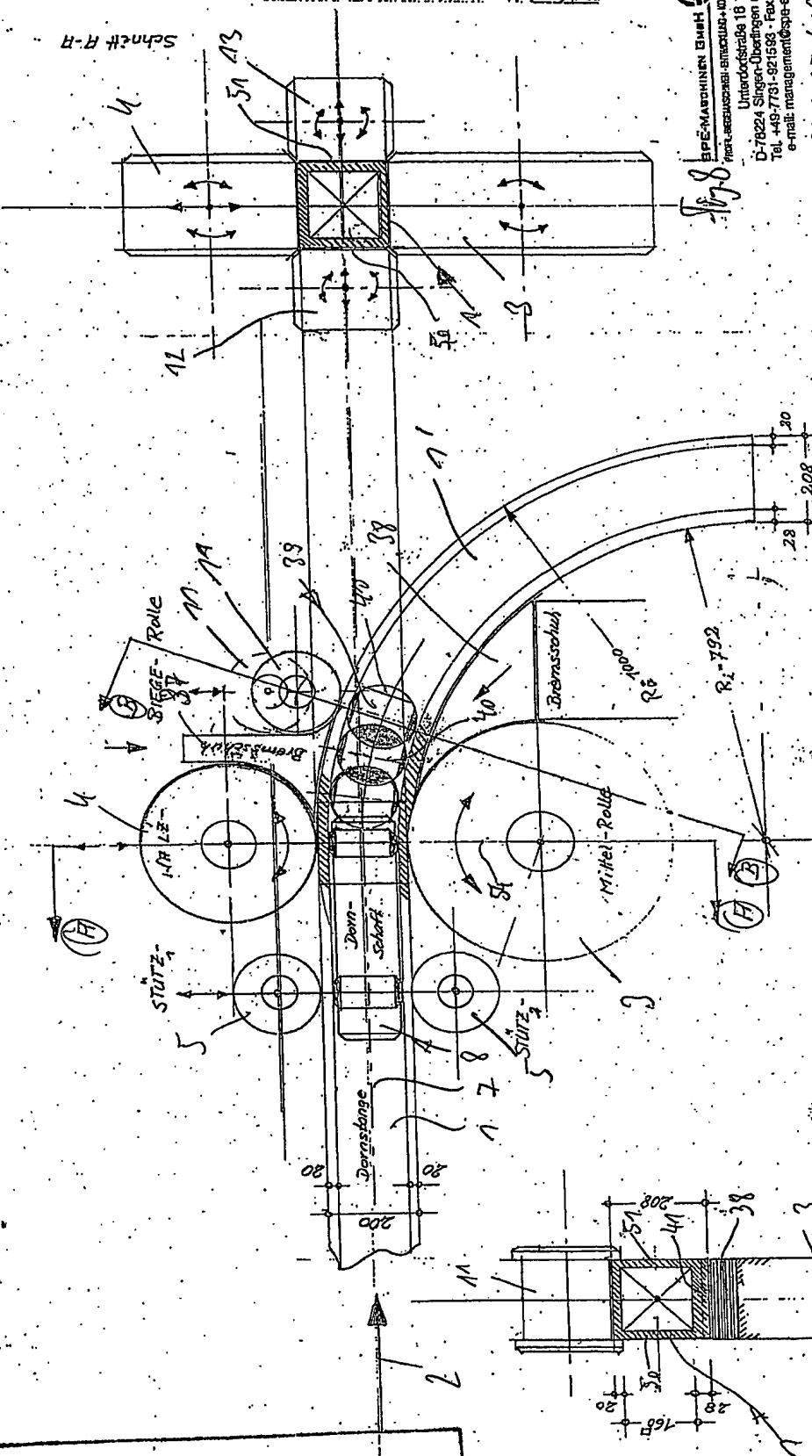
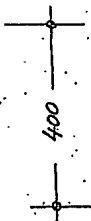
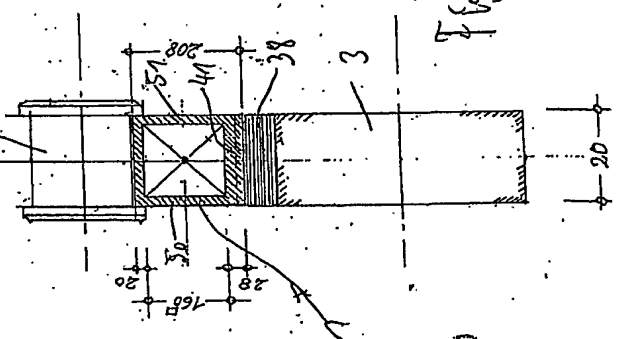


Fig. 2

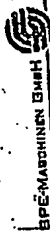
Schnitt D-D

Fig. 3



P833

eingereicht am 22. Jan. 2004



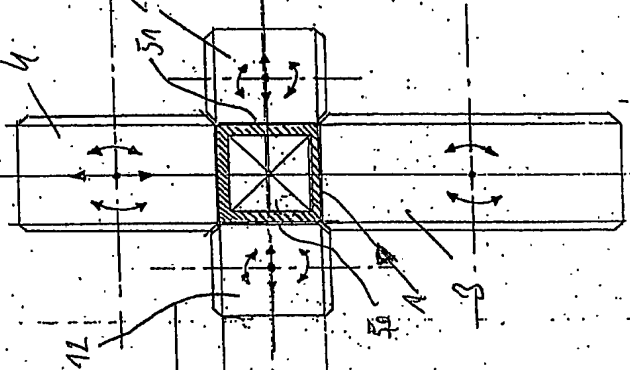
SPÄRMASCHINEN DMH  
FABRIKATION VON MASCHINEN FÜR  
DIE LEBENSMITTEL-INDUSTRIE  
Unter der Straße 18  
D-7824 Singen-Überlingen am Bodensee  
Tel. +49-7731-921593 Fax 921616  
e-mail: management@spa-sg.com

26.11.03 / N.E.S.

Schaubild 5

Verzögerungsrollen

Schnitt R-R



Standschubbiegen

±0 Biegelinie  
 Isiegel  
 n-durch Ständehalten  
 Biegelinie durch Auswärtig  
 Vertikal-Holzrolle oben  
 12

eingereicht am 22. Jan. 2004

-4-

Holz-ROLLE

beim Scherkräftebiegen  
 Dornschaft  
 -8-  
 -38-

Hussenbogen

Innenbogen

Mittelrolle

PROFILBIEGEN - durch  
 Standschubbiegen und zusätzlich  
 einwirkenden Widerstand im  
 Bereich der Holz-Rolle  
 gegen das Schneiden am Profil

-3-

SPÉ-MACHINEN GmbH  
 PROF. BEZUGSGESCH. ENTWURF + KONSTRUKTION  
 Unterdorfstraße 15  
 D-79224 Singen-Überlingen am-Ried  
 Tel. +49-7781-921533 - Fax 921616  
 e-mail: management@spe-ag.com

26.11.03 / H.E.S.

Schau-Bild 3

1:1

Fig. 10

-03-

Vertikal-Holzrolle unten

200

208

$R_2 = 792 \text{ mm}$

$R_2 = 1000 \text{ mm}$

P.833



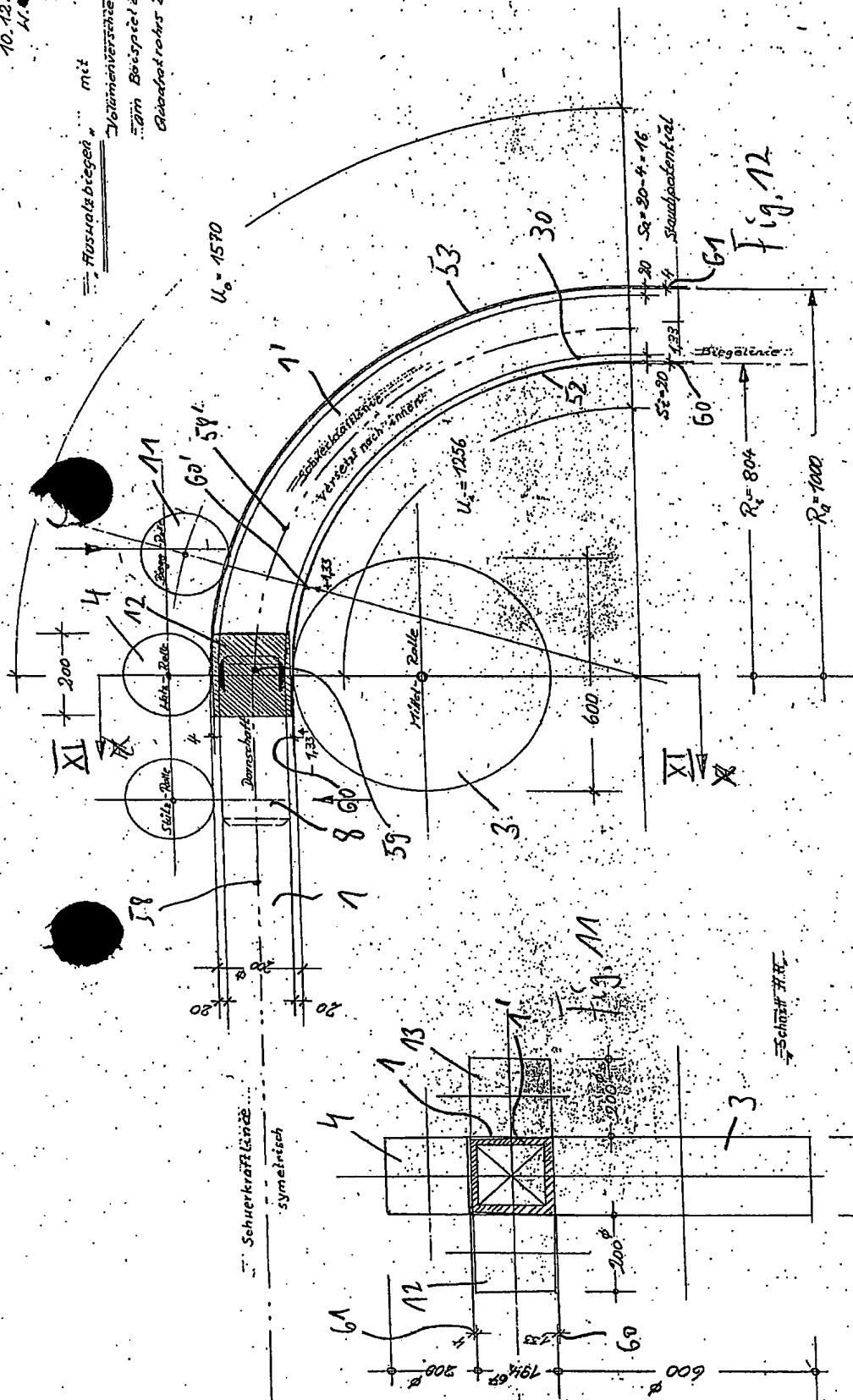
10.12.03  
H.E.S.

Flussablenkung mit

Volumenveränderung

am Beispiel eines

Quadratrohres 200x200x20mm



eingereicht am 22. Jan. 2004



SPE-MASCHINEN GmbH

PROFILBUSSMASCHINEN - ENTWICKLUNG + KONSTRUKTION

Unterdorfstraße 16

D-78224 Singen-Überlingen am Ried

Tel. +49-7731-921593 - Fax 921616

management@spe-ag.com

Bei 100% Flussablenkung liegt die Biegelinie am Innenbogen,

d.h. die Krümmungslänge verändertsich nicht.

$$F_i = U_i \cdot S_i = 1256 \cdot 20 = 25120 \text{ mm}^2$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

$$S_a = \frac{F_a}{U_a} = \frac{25120 \text{ mm}^2}{1570 \text{ mm}} = 16 \text{ mm}$$

Die Summe der Volumenelemente bleibt konstant, d.h.  $F_i = F_a$ .

Die Seitenwände werden symmetrisch von außen 4 mm kanalisiert nach innen auf 0 ausgesetzt.

Im Verhältnis  $800:600 = \frac{4}{3}$  ist bei einer

Eintrittstiefe von außen 4 mm die Eintrittstiefe innen  $= \frac{4}{3} = 1,33 \text{ mm}$ . Diese Längung innen wird durch die Biegelinie über den Stutzen aufgehoben.

d.h. 20-16 = 4 mm müssen ausgesetzt werden.

P833